

УДК 655.225

© Дурняк Б.В., д.т.н., професор, Українська академія друкарства, Львів, Україна

© Луцків М.М., д.т.н., професор, Українська академія друкарства, Львів, Україна

ДЕНСИТОМЕТРІЯ І МОДЕЛЮВАННЯ ОПТИЧНОЇ ГУСТИНИ ЗОБРАЖЕНЬ

The structural scheme of the optical reflection density model is used, which is used in densitometry to determine the optical density and other parameters, and its properties are analyzed. The results of simulation modeling of the sensitivity characteristics of the model and its compliance with the human visual system are presented.

В сучасних системах приготування до друкування типу Photoshop та інших широко застосовуються різноманітні методи цифрової обробки зображень, які оперують 256 рівнями сірого, які дозволяють одержати якісне зображення і спостерігати його на чорному екрані монітора. Інструментальні засоби цих редакторів дозволяють здійснити основний вид обробки – тонове коригування зображень, зокрема, задачі пов'язані з коригуванням нелінійних спотворень, які обумовлені технологічними процесами підготовки і виготовленням форми і в процесі друкування, наприклад, компенсація розтиску друкувальних елементів та інші. Щоб скоригувати зображення на формі необхідно розмістити тестову шкалу, видрукувати відбиток, заміряти оптичну густину на полях тестової шкали і на їх основі побудувати характеристику друкування, визначити інші параметри. Тоді, на основі цих даних за допомогою графічного редактора можна здійснити коригування цифрового зображення за допомогою інструмента Curves (Криві), шляхом відповідного налагодження кривої у вікні. Існують інші інструменти за якими визначають діапазон яскравості зображень, загальний тон, встановлюють мінімальні і максимальні рівні світлого і темного [1, 3]. Отже, процедура коригування зображень на основі експериментальних даних не є простою.

Підкреслимо, що перераховані налагодження здійснюються на основі експериментальних даних і характеристик, одержаних у більшості випадків сенситометричним шляхом, вмінні оператора (дизайнера) і суб'єктивному сприйнятті і оцінці якості зображень, що не дозволяє оптимізувати тонопередачу. Оскільки відтворення зображень поліграфічними методами і засобами у більшості випадків відтворюються «чорнотою» фарби на білому папері, тому для визначення ступеня загорнення зображень на відбитку його кількісно оцінюють оптичною густиною. Окрім цього, методи обробки зображень кастрування, виготовлення форми, зонального налагодження подачі фарби, контроль якості форми і якості відбитків здійснюється шляхом вимірювання оптичної густини на тестових зображеннях [3].

Денситометрія оснований на вимірюванні відбитого / пропущеного потоку світла від поверхні ділянки зображення і кількісно оцінюється за оптичною густиною, як від'ємний логарифм коефіцієнта відбивання. Вираз для розрахунку оптичної густини поданий у ряді джерел [2, 3] та інших, однак аналізу цього виразу, чи його градаційних характеристик у цих джерелах не має і практично вони не застосовуються для аналізу чи обробки поліграфічних зображень. Отже, існує проблема відповідності оптичної густини зображення властивостям зорової системи людини.

Око людини реагує на світловий потік. Світлова дія характеризується відчуттям світла – світлістю. Із збільшенням світлового потоку зростає рівень реакції зору – випромінювання сприймається як більш світле. Кількісна характеристика реакції ока викликана випромінюванням здається більш чи менш світлим називається світлістю [1,2]. Враховуючи складність задачі розглянемо монохромні напівтонові зображення, виходячи із різних аспектів сприйняття зображень через відповідні моделі зору [1, 2]. Рівень зорового відчуття –

світлість – залежить від потоку світла, що діє на око (до зіниць), вона визначається яскравістю. Модель зору базується на зміні світлості – методі порогових відчуттів (сприйняття). На основі експериментальних досліджень одержано психофізичний закон Вебера-Фехнера, поданий логарифмічним виразом, який подають у різних формах запису [1,2]. Традиційно поріг відчуття характеризують різницею сприйняття суміжних полів при експериментальних дослідженнях

$$\Delta L = L_0 - L_i, \quad (1)$$

де ΔL – найменша різниця яскравостей (поріг), що забезпечує зорову від'ємність більшої яскравості L_0 від меншої L_i .

Яскравість залежить від порогу

$$\frac{\Delta L}{L_0} = k = \frac{L_0 - L_i}{L_0}, \quad (2)$$

де k – диференціальний поріг.

Фехнер, проінтегрувавши цей вираз, запропонував вважати одиницею вимірювання яскравості (диференціальним порогом) і встановив, що інтенсивність відчуття зростає пропорційно логарифму яскравості

$$W = C - k \lg \left(\frac{L}{L_0} \right), \quad (3)$$

де C – сталі початкові умови інтегрування, які залежать від L_{\min} і L_{\max} і умов спостереження [1,2].

Якщо у виразі (3) лінійно змінювати L у заданих межах для заданого значення k , одержаного із експерименту, тоді за ним можна розрахувати і побудувати характеристику зорового відчуття, яка залежить від умов експерименту. Для розрахунків скористалися даними поданими у [1] на стор. 16 і стор. 22, згідно яких прийняли $k=20$, $L_{\min}=0,05$, $L_{\max}=10$ і побудували характеристику моделі (3) зорового відчуття з обмеженим діапазоном яскравостей для нормального розсіяного денного світла та ламповому кімнатному освітленні, яка подана на рис. 1.

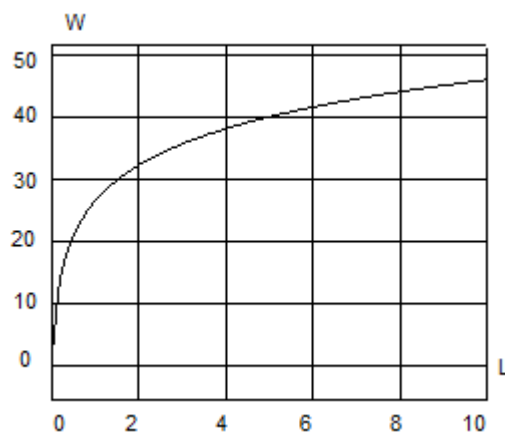


Рис. 1. Характеристика моделі зорового сприйняття залежно від яскравості

Характеристика зорового сприйняття є логарифмічною кривою, яка слугує для співставлення із характеристиками оптичної густини, розраховані відповідно до прийнятого алгоритму у денситометрі. Згідно до міжнародних стандартів ISO-2 [3] оптична густина загорнених фарбою ділянок відбитка визначається на основі коефіцієнта відбивання і кількісно оцінюється за оптичною густиною відбивання, як від'ємний десятиковий логарифм коефіцієнта відбивання [3]

$$D = -\lg R. \quad (4)$$

де одиниця вимірювання -1, R – коефіцієнт відбивання відношення відбитого потоку світла від об'єкта вимірювання до інтенсивності потоку, який падає на об'єкт.

Якщо від зображення (плашка) відбивається весь світловий потік, його десята, сота або тисячна частина, тоді оптична густина становить 0, 1, 2, 3. Оскільки оптична густина неперервного потоку визначається у відбитому світлі, тоді точність розрахунку залежить від рівномірності покриття поля, властивостей фарби та її товщини, білизною суцільного тону паперу, тощо. Вираз (4) для розрахунку оптичної густини поданий у ряді відомих джерел (підручниках і монографіях) [2, 3,] та інших. Однак, аналізу цього виразу чи графічних характеристик у доступних джерелах немає, це спонукало авторів до його аналізу.

Оскільки, світлове збудження може змінюватись у діапазоні від нуля до безмежності, тому відповідно до формули (4) отримуємо, що коефіцієнт відбивання R змінюється в інтервалі $0 \leq R \leq 1$. Коефіцієнт відбивання залежить від ступеня поглинання світла, товщини фарби і властивостей непрозорої підкладки (паперу). Частину світла поглинає фарба і підкладка, а частина відбивається і потрапляє у приймач денситометра, який кількісно оцінює окремі параметри. Однак, основне призначення денситометра – вимірювання оптичної густини.

Якщо у виразі (4) лінійно змінювати коефіцієнт відбивання у заданих межах $[0 \leq R \leq 1]$, тоді за ним можна розрахувати і побудувати характеристику оптичної густини відбивання. Для спрощення задачі на основі викладено і виразу (4) розроблена схема логарифмічної моделі для визначення оптичної густини в пакеті MATLAB: Simulink, яка подана на рис. 2.

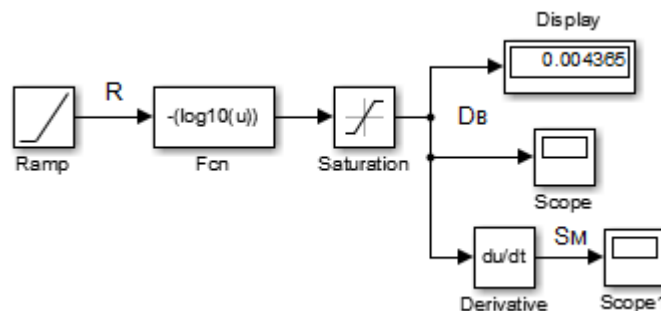


Рис. 2. Структурна схема логарифмічної моделі оптичної густини відбивання

Блок Ramp генерує лінійно наростаючий коефіцієнт відбивання R , який подається на вхід блока математичних функцій Fcn у діалоговому вікні якого за виразом (4) записана програма для розрахунку оптичної густини. Блок Saturation призначений для обмеження максимального значення оптичної густини. Результати імітаційного моделювання візуалізуються блоками Scope і Display. Блок диференціювання Derivative призначений для визначення чутливості моделі. Налагодили блок Saturation на обмеження оптичної густини $D=3.0$, яка є максимальною для офсету. Результати імітаційного моделювання характеристики оптичної густини подані на рис. 3.

Для порівняння у нижній частині рисунка подана пряма лінія, яка відповідає зміні коефіцієнта відбивання від нуля до одиниці. Характеристика оптичної густини є кривою подібною до гіперболи, її особливість полягає у тому, що на початку діапазону при малих значеннях коефіцієнта відбивання, який становить соті долі і менше, оптична густина швидко збільшується і може становити десятки одиниць.

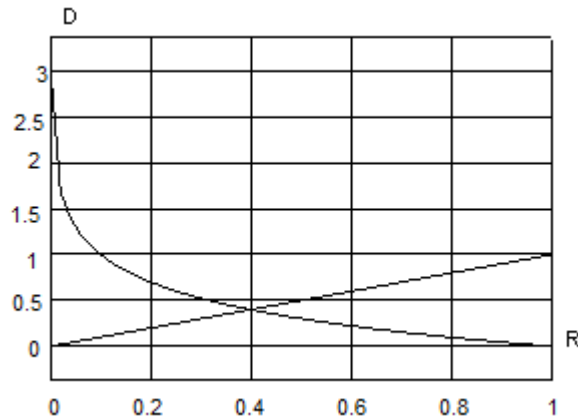


Рис. 3. Характеристика оптичної густини відбивання

Тому для зручності подання характеристики на графіку вона обмежується до $D=3.0$. При малих значеннях коефіцієнта $R < 0.05$ характеристика стає крутою, а відношення $\Delta D / \Delta R$ значно зменшується, отже, модель дуже чутлива, що викликати похибки.

Щоб кількісно оцінити чутливість моделі визначаємо її як похідну від оптичної густини віднесеної до коефіцієнта відбивання

$$S_M = \frac{\Delta D}{\Delta R}. \quad (5)$$

Чутливість визначали за допомогою блоку диференціювання Defference. Оскільки, модель має великий діапазон зміни чутливості, а найбільш великою є зміна чутливості у тінях, тому результати імітаційного моделювання подані для тіней на рис. 4.

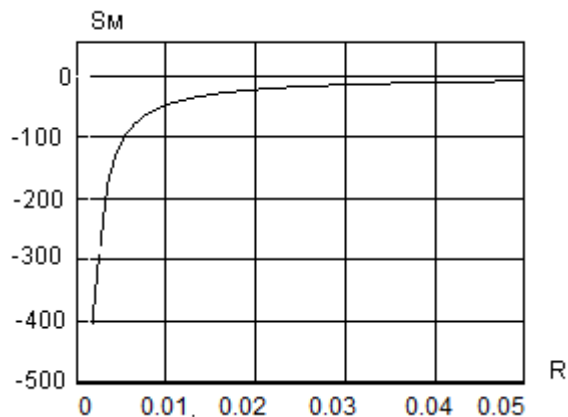


Рис. 4. Графік чутливості моделі оптичної густини для тіней

Велика чутливість моделі у тінях, яка складає сотні одиниць, означає, що малий приріст коефіцієнта відбивання ΔR викликає великий приріст оптичної густини ΔD . Знак мінус означає, що при збільшенні коефіцієнта відбивання оптична густина зменшується. Велика чутливість моделі оптичної густини викликає помітну похибку вимірювання оптичної густини у тінях. Отже, існують труднощі управління і контролю оптичної густини на стадії приготування зображень до друкування і контролю оптичної густини відбитків.

Порівнюючи характеристики оптичної густини (рис. 3) і зорового сприйняття (рис. 1), яка відповідає закону Вебера-Фехнера, робимо висновок, що вони є різні, навіть протилежні. Це обумовлено тим, що ці характеристики подані у різних форматах, а саме «оптична густина - коефіцієнт відбивання», натомість у законі Вебера-Фехнера «інтенсивність зорового відчуття - яскравість». Отже із викладеного неможливо оцінити наскільки алгоритм вимірювання оптичної густини відповідає властивостям зорової системи людини. Зроблена спроба посереднього порівняння, шляхом модифікації характеристики оптичної густини, а

саме оберненого перетворення. На рис. 5, шляхом імітаційного моделювання побудована характеристика оберненої оптичної густини.

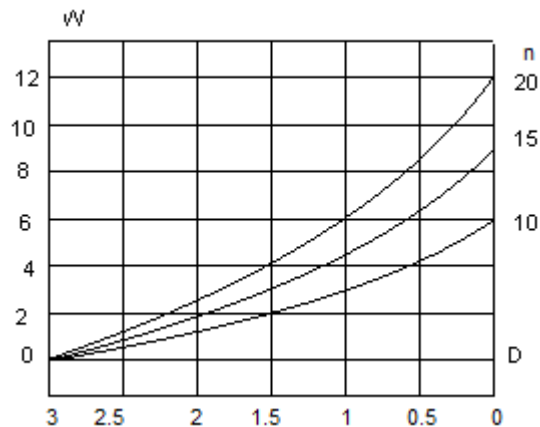


Рис. 5. Характеристика оберненої оптичної густини

Порівнюючи характеристики подані на рис. 1 та рис. 5, робимо висновок, що формально вони подібні. Однак, встановити кореляцію між оберненою оптичною густиною зображення і її відповідність зоровій системі залишається відкритою і вимагає подальших досліджень.

1. Відтворення зображення поліграфічними методами і засобами здійснюється «чорнотою» фарби на білому папері, а синтез тонопередавання і коригування зображень здійснюється на основі експериментальних денситометричних даних, які оцінюють оптичну густину, як логарифм коефіцієнта відбивання потоку світла, тому існує проблема відповідності оптичної густини зображення властивостям зорової системи людини.

2. На основі закону Вебера-Фехнера розрахована і побудована характеристика зорового сприйняття зорової системи залежно від яскравості, яка слугує для співставлення із характеристикою оптичної густини, визначеної за існуючими алгоритмами денситометрії.

3. Розроблена структурна схема моделі оптичної густини за якою побудовані характеристики оптичної густини і встановлено, що вона не відповідає зоровому сприйняттю тональності людини і суперечить принципам існуючих сенситометричних вимірювань, що є недоліком.

Перелік посилань:

1. Воробель Р.А. Логарифмічна обробка зображень. — К.: Наукова думка, 2012. — 232 с.
2. Лотошинська Н.Д., Івахів О. Теорія кольору та кольоровідтворення — Львів: видавництво Львівської політехніки, 2014. — 204 с.
3. Пашуля П.Л. Стандартизація, метрологія, відповідність, якість у поліграфії: підручник. — Львів: УАД, 2011. — 408 с.